

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **07-267658**
(43)Date of publication of application : **17.10.1995**

(51)Int.CI. **C03B 11/12**
G02B 3/02

(21)Application number : **06-055817** (71)Applicant : **CANON INC**
(22)Date of filing : **25.03.1994** (72)Inventor : **MASHIGE MASASHI**
YAMAMOTO KIYOSHI
NOMURA TAKESHI

(54) PRODUCTION OF OPTICAL ELEMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a high precision process for producing an optical element having a shape difficult to form by conventional method.

CONSTITUTION: This process for producing an optical element comprises the pressing of a softened glass raw material with a forming mold member to form the glass raw material, to have an optical function face corresponding to the forming face of the mold member. In the above process, the glass raw material is maintained at a prescribed temperature above the glass transition temperature over a prescribed period in the cooling stage. Since the thermal stress generated in the glass raw material can be eliminated in a short time by this process, an optical element having a shape difficult to form by conventional method can be produced in high precision.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] **24.02.1999**
[Date of sending the examiner's decision of rejection]
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number] **3216099**
[Date of registration] **03.08.2001**
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right] **08.01.2003**

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-267658

(43)公開日 平成7年(1995)10月17日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号 庁内整理番号

F I

技術表示箇所

C 03 B 11/12
G 02 B 3/02

審査請求 未請求 請求項の数 3 O.L (全 8 頁)

(21)出願番号	特願平6-55817	(71)出願人	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22)出願日	平成6年(1994)3月25日	(72)発明者	真重 雅志 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ ノン株式会社内
		(72)発明者	山本 淳 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ ノン株式会社内
		(72)発明者	野村 剛 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ ノン株式会社内
		(74)代理人	弁理士 山下 穣平

(54)【発明の名称】 光学素子の製造方法

(57)【要約】

【目的】 従来成形が困難であった形状の光学素子を高精度で製造する方法を提供する。

【構成】 軟化状態にあるガラス素材を成形用型部材を用いてプレスして、該型部材の成形面に対応した光学機能面を該ガラス素材に成形する光学素子の製造方法において、冷却工程中に、該ガラス素材をガラス転移点以上の一定温度に所定時間保持する、光学素子の製造方法。

【効果】 ガラス素材の内部に発生した熱応力を短時間で除去できるため、従来成形が困難であった形状の光学素子を高精度で製造可能である。

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 軟化状態にあるガラス素材を成形用型部材を用いてプレスして、該型部材の成形面に対応した光学機能面を該ガラス素材に成形する光学素子の製造方法において、冷却工程中に、該ガラス素材をガラス転移点以上の一定温度に所定時間保持する工程を有することを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項2】 前記光学素子が凹レンズ形状である請求項1記載の光学素子の製造方法。

【請求項3】 前記光学素子が凹メンスカス形状である請求項1記載の光学素子の製造方法。 10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、例えば非球面レンズなどの複雑な形状を有する光学素子を高精度にプレス成形する事ができる光学素子の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、光学機器の小型化、軽量化にともない光学系に使用されるガラスレンズとして、非球面形状のレンズが望まれている。上記非球面形状を有するガラスレンズの製造方法として、所定の表面精度を有する成形用型内に光学素子材料を挟み込みプレス成形することにより光学素子を製造する方法が提唱された。

【0003】 この方法は例えば特公昭61-32263号公報に開示してあるように、所望の光学素子の最終形状に正確に対応する内部形状を有する鋳型の中にガラス素材を挟み込み、上記ガラス素材の粘度が $10^8 \sim 5 \times 10^{10}$ ポアズの範囲の温度でプレス成形を行い、その後ガラス素材と鋳型の温度差が少なくとも20℃以上にならないように冷却を行い、ガラス素材がその粘度が 10^{12} ポアズよりも大きくなる温度域で鋳型間から上記ガラス素材を取り出すことによって、高精度な光学素子を得る方法である。

【0004】 また更に特公昭61-286236号公報には、高精度な光学素子を得るために所定形状に押圧成形後のガラス光学素子をそのガラス素材の歪点（粘度 $10^{14.5}$ ポアズ）以上、ガラス転移点（粘度 $10^{13.5}$ ）以下の温度に所定時間保持する工程と、前記ガラス光学素子が所望の屈折率となる冷却速度にて冷却を行う工程とからなるガラス素子の徐冷方法が提唱されている。

【0005】

【発明が解決しようとしている課題】 しかしながら上記従来例（特公昭61-32263号公報）では、例えば光学機能面の曲率半径の大きい凹レンズやメンスカスレンズのように冷却プレスの圧力等の成形条件を最適なものに設定したとしても、形状によっては光学素子の形状精度が、例えばクセ、ニュートンリング1本以下といった必要とする精度まで向上できないものがある。

【0006】 さらに特公昭61-286236号公報に

2

開示してあるように、冷却過程においてそのガラス素材の転移点（粘度 $10^{13.5}$ ポアズ）以下で定温保持する過程では、すでにガラス素材の粘度は比較的高い状態にあるため、ガラスの応力緩和作用によってガラス素子内に発生した熱応力を緩和しきれず、結果的に型部材からガラス光学素子が剥離した際に上記熱応力が解放され変形を生じてしまい形状精度を維持できない場合がある。

【0007】 例えば、先に述べたような形状の光学素子では、特にガラス素材内に熱応力が強く生ずるため内部に熱応力が残り易く、上記型部材とガラス光学素子が剥離する際に変形し易い。

【0008】

【課題を解決するための手段】 即ち、本発明は、軟化状態にあるガラス素材を成形用型部材を用いてプレスして、該型部材の成形面に対応した光学機能面を該ガラス素材に成形する光学素子の製造方法において、冷却工程中に、該ガラス素材をガラス転移点以上の一定温度に所定時間保持するを有することを特徴とする光学素子の製造方法である。

20 【0009】 本発明においては、ガラス素材はまだ活発に応力緩和作用を行うため、短時間で内部に発生した熱応力を除去可能であるので、従来までは成形が困難であった形状の光学素子の高精度な成形を可能とした。

【0010】

【実施例】 以下、本発明の実施例に付いて、添付図面を参照にして詳細に説明する。

【第1実施例】 本実施例では、ガラス素材に重クラウンガラス（SK12）を使用し、凹形状の光学素子を成形する場合について示す。

30 【0011】 図1は本実施例の光学素子の成形方法を適用する成形用型12の構成を示した図である。また図1は、凹レンズを成形加工するための成形用型12の構成を示しており、上型部材16と下型部材18によるガラス素材40のプレス動作が終了し、ガラスレンズの成形が略完了した状態を示している。

【0012】 図1において、成形用型12外殻部を構成する胴型14は、支持基板20を介して光学素子の成形装置本体10上に載置されている。胴型14は上面視略正方形の角柱状に形成されており、その中心軸上には、この胴型14を上下に貫通した状態で、貫通穴14a、14bが形成されている。これらの貫通穴のうち上側の貫通穴14aには、円柱状に形成された上型部材16が、勘合した状態で上下方向に沿って摺動可能に挿入されている。上型部材16の上端部には、円盤状のフランジ部16aが形成されており、このフランジ部16aの下面が胴型14の上面14cに上方から当接することにより、上型部材16はそれ以上下方に移動することを阻止されており、これによって、上型部材16の下方へのプレストロークが規定されている。また上型部材16の下面には、ガラス素材40を押圧して、その表面に所

3

望の形状を転写して光学機能面を形成するための成形面 16 bが形成されている。

【0013】なお上型部材16上方には、ガラス素材40に印加するプレス圧を発生させるためのエアシリンダ22が、不図示の支持部材により支持された状態で配置されている。エアシリンダ22の下方には、上下方向に沿ってピストンロッド22aが配置されており、このピストンロッド22aの下端部は、上型16の上端面に接続されている。したがって、エアシリンダ22が動作されてピストンロッド22aが下方に向けて押し出し動作されることにより、ガラス素材40にプレス圧p1が印加される。

【0014】一方下側の貫通穴14bには、上型部材16と同様に円柱状に形成された下型部材18が、勘合した状態で上下方向に沿って摺動可能に挿入されている。下型部材18の下部には円板状のフランジ部18aが形成されており、このフランジ部18aの下面18cは、胴型14が載置されている支持基板20の上面に当接している。そして、この支持基板20により上型部材16からガラス素材40を介して下型部材18に加えられる下方へのプレス圧p1を受けるように構成されている。下型部材18の上端面には、ガラス素材40の下面に所望の形状を転写して光学機能面を形成するための成形面18bが形成されている。

【0015】したがって、ガラス素材40には、その上面に、上型部材16の成形面16bの表面形状が転写された光学機能面40aが形成され、下面には、下型部材18の成形面18bの表面形状が転写された光学機能面40bが形成されることとなる。

【0016】また成形された凹レンズ(ガラス素材40)の厚みは、上述したように、上型部材16のフランジ部16aの下面が、胴型14の上面14cに当接することにより規定され、加工する毎に凹レンズ(40)の厚みが変化しないようになされている。

【0017】なお成形装置本体10の下面には、エアシリンダ24が固定されており、このエアシリンダ24のピストンロッド24aは、成形装置本体10に成形された貫通穴10aと、支持基板20に形成された貫通穴20aを順次介して下型部材18の下面18cに接続されている。このエアシリンダ24は、凹レンズ(ガラス素材40)の成形動作が終了した後の冷却過程において、凹レンズ(40)の形が崩れることを防止するために、下型部材18を上方に押し上げて、凹レンズ(40)に圧力p2を作用させるためのものである。

【0018】一方、胴型14の側面には、開口穴14dが形成されており、この開口穴14dを介して、成形用型12の内部にガラス素材40が供給されると共に、成形の完了した凹レンズ(40)が成形用型12の内部から取り出される。

【0019】なお胴型14内には、その四隅に位置した 50

4

状態で、この胴型14、上型部材16、下型部材18を加熱すると共に、これら胴型14、上型部材16、下型部材18を介してガラス素材40を加熱するためのヒータ26が配置されている。

【0020】次に、上記の様に構成された成形用型12により凹レンズを成形する手順について説明する。

【0021】ここで図2は光学素子で成形されるまでの、温度プロセス及びガラス素材40に負荷される荷重プロセスを示した図である。なお荷重プロセス図では、図1中のp1の方向が“+”、p2の方向が“-”で示してある。

【0022】まずエアシリンダ22のピストンロッド22aを引き込み動作させて、上型部材16を胴型14に対して上方にスライドさせ、下型部材18から逃がしていく。この状態において、胴型14の開口穴14dを介して、オートハンド等により、所定の高温に加熱されたガラス素材40を下型部材18の成形面18b上に供給する。このとき供給されるガラス素材40は、凹レンズを成形する場合には、円板状に形成されているか、あるいは凹レンズの完成形状に近い形状に形成されている。また胴型14及び上型部材16及び下型部材18は、所定の成形条件に対応した温度に加熱されている。本実施例では、ガラス素材40の粘度で $10^{9.5}$ ボアズに相当する温度(620°C)であった。

【0023】ガラス素材40が、下型部材18の成形面18b上に供給された後、エアシリンダ22のピストンロッド22aを押し出し動作させて、ガラス素材40の上面を上型部材16の成形面16bを当接させ、ガラス素材40にプレス圧p1を印加させる。本実施例では4000Nであった。このプレス圧p1が印加されて、上型部材16が徐々に下方に移動すると、ガラス素材40が、次第に水平方向に押しつぶされて、最終的には、図1に示したような状態となる。この状態においては、ガラス素材40の上下には、上型部材16の成形面16bと下型部材18の成形面18bの形状が転写された光学機能面40a、40bが形成されており、またガラス素材40の厚みは、所望の厚みに成形されている。

【0024】この後成形された凹レンズ(ガラス素材40)は徐々に冷却される。この冷却過程においては、成形された凹レンズ(40)の形状が崩れないように、本実施例では凹レンズ(40)の温度がガラス素材40の粘度で $10^{10.6}$ ボアズに相当する温度(600°C)になった時点で、エアシリンダ24が作動されて下型部材18が押し上げられ、凹レンズ(40)に圧力p2が印加される。本実施例では3200Nであった。そしてさらに冷却を行い、所定の温度まで温度が低下した時に、所定の時間温度を一定に保ち、凹レンズ(40)内の冷却によって発生したと思われる熱応力が、ガラス特有の応力緩和作用によってほぼ無くなるのを待つ。本実施例では、ガラス素材40の粘度で $10^{11.6}$ ボアズに相当する

温度(570°C)で2分の定温保持を行った。その後再度冷却を開始し、所定の温度まで温度が低下したときに、再びエアシリンダ22が引き込み動作されて上型部材16が上方に移動し、この凹レンズはオートハンド等により、胴型14の開口穴14dを介して外部に取り出される。本実施例ではガラス素材40の粘度が 10^{12} ボアズに相当する温度(560°C)で凹レンズを取り出した。

【0025】ここで、汎用構造解析用ソフト『MAR*

物性	単位	ガラス	型
熱伝導率	W/m·K	1.34	71.2
比熱	KJ/kg·K	0.967	0.265
密度	kg/m ³	3.19×10^3	1.47×10^3
ボアン比		0.25	0.22
膨張係数	/°C	9.0×10^{-6}	7.8×10^{-6}
* 室温時の値(図3に示す温度依存性を考慮)			
弾性率	kg/m ²	—	6.22×10^{10}
粘弹性率	kg/m ²	緩和弾性係数	—

【0027】上記表1で示すガラス素材40の粘弹性物性は、次のようにして求められる。即ち、先ず粘弹性の温度領域にあるガラス試料を、一定温度に保ったまま、3点曲げ状態で一定の負荷を加え続ける曲げ試験を行い、試料の撓み量を測定し、以下の式によりクリープ・コンプライアンスを求める。これは温度のファクターを少しづつ換えて計算され、結果として図4に示すクリープ曲線を得る。

【0028】

$D_c(t, T_0) = 4bd^3 / 1^3 \times v(t) / Wo$

なお上の式で、 $D_c(t, T_0)$ はクリープ・コンプライアンス、 b は試験片の幅、 d は試験片の長さ、 1 はスパン間距離、 $v(t)$ は荷重点における撓み、 Wo は荷重である。

【0029】粘弹性温度域におけるガラスは、熱レオロジー的に単純な性質を有するので、図4の各温度におけるクリープ・コンプライアンス曲線を左右に平行移動(時間分の平行移動)することにより、図5に示す1本

* C』(日本マーク株式会社製)を用いて、上述の冷却行程におけるガラス素材40内部の熱応力をシミュレートしてみる。ここでは、ガラス素材40及び型部材16、18の物性を、以下に示す表1から、データとして入力する。なお温度と膨張係数の関係は、ガラス素材40及び型部材16、18について、それぞれ、図3のグラフに示すとおりである。

【0026】

【表1】

のマスターカーブにまとめられる。この場合の温度と時間との関係は、図6に示す時間・温度シフトファクターで表すことができる。即ち、ここで示すガラスの時間・温度シフトファクターは、図6の様に2本の直線(アレニュースの式)で近似でき、その交点の温度は、ガラス転移点温度よりやや低い温度である。

【0030】緩和弾性係数(弾性体における弾性係数に相当する)は、応力緩和減少の影響があるため温度及び時間の関数として取り上げることができるが、ここで対象となるガラスが上述のように熱レオロジー的に単純なので、図5のクリープ・コンプライアンス同様に、図7に示すマスターカーブ(一般に、図7に緩和弾性係数のマスターカーブは図5のクリープ・コンプライアンスの逆数で近似される)が得られる。

【0031】上述のように、ガラスのような、熱レオロジー的に単純な性質の粘弹性物質は、図7の緩和弾性係数のマスターカーブと、図6の時間・温度シフトファクターとから、そのある温度、ある時間における緩和弾性

係数 $E_r(t, T_0)$ を求め、線形粘弾性理論での履歴積分の式（以下に示す）によって表すことができる。 * 【式1】

$$\sigma(t) = \int_0^t E_r(t, T_0) \cdot (\frac{d\epsilon(t)}{dt}) \cdot dt$$

なお上式で、 t は解析時間、 $\sigma(t)$ は応力、 $\epsilon(t)$ は歪みである。

【0033】そこで、数値解析に粘弾性特性を取り入れるために、図7の緩和弾性係数のマスターカーブと図6の時間・温度シフトファクターの式化が必要になる。図6の時間・温度シフトファクターに関しては、上述のようにアレニュースの式で近似できるので、解析プログラム（日本マーク株式会社製のソフトプログラム『MARC』）を利用して、直線の式と直線同士の交点をデータ入力し解析できる。なお、図7の緩和弾性係数のマスターカーブは、以下に示すプロニー展開によって近似可能である。

【0034】

【式2】

$$E_r(t, T_0) = \sum_{n=1}^N E_r^n \cdot \exp(-t/t^{(n)})$$

なお、 $t^{(n)}$ は n 次の換算時間、 E_r^n は n 次の緩和弾性係数である。

【0035】以上の各物性値を用いて、ガラス素材40の粘度で $10^{9.5}$ ポアズに相当する温度（620°C）からその粘度で $10^{11.5}$ ポアズに相当する温度（570°C）まで冷却を行った後に、その温度（570°C）のままで定温に保持した際の、ガラス内の熱応力を解析した。

【0036】その結果図8より明らかなように、ガラス素材40の粘度で $10^{11.5}$ ポアズに相当する温度（570°C）までの冷却工程中にガラス内に生じた熱応力が、その温度（570°C）で一定に保持している間に緩和され、ほぼ消滅していることが解る。また熱応力が消滅するまでに、2分あれば十分なことが解る。

【0037】以上より、本実施例での定温での保持時間は2分とした。

【0038】また定温に保持する温度は、活発にガラスの応力緩和作用が働くガラス素材40の転移点以上の温度でなければならないのはもちろんだが、より応力緩和作用が活発に作用する、なるべく高温での定温保持が望ましい。

【0039】しかし、あまり高温域で定温保持を行うと、ガラス素材40がまだ軟化状態にあるため、取り出しが可能な粘度になるまで更に冷却を行わなければならなくなる。それでは、またガラス素材40内に熱応力が生じてしまうため定温保持の意味がなくなってしまうため、定温に保持する温度は、適当な温度域を選択する必要がある。

【0040】そこで本実施例では、使用しているガラス素材40の転移点がその粘度で $10^{12.5}$ ポアズ（550

10

20

30

40

50

°C）であるため、その粘度で $10^{11.5}$ ポアズに相当する温度（570°C）で定温保持を、その粘度で 10^{12} ポアズに相当する温度（560°C）で取り出しを行った。

【0041】以上の手順によって本実施例で成形したレンズの形状を図9に示す。

【0042】また本発明の定温保持を行わず、同じ成形装置で成形した同一形状の凹レンズの、光学機能面をフィゾー干渉計によって調べた結果を図10に、本発明の定温保持を行ったレンズのそれを図11に示す。

【0043】図10及び図11の結果から明らかなように、従来までの成形方法では、例えばクセがニュートンリング1本以下といった所望の面精度を確保できない形状のレンズでも、本発明の方法によって、良好な面精度が確保できていることがわかる。また本発明の方法によって連続的に凹レンズを成形した結果、全てのレンズがアス（光軸を中心とする軸対称でない形状誤差）、クセ共にニュートンリング1本以下に納まっていた。

【0044】【第2実施例】他の実施例としてガラス素材をプリントガラス（F8）にし、成形する光学素子形状を図12に示す凹メンスカス形状として成形を行った。

【0045】使用した成形装置は図13に示す様に、第1実施例（図1）と同一のものであるが成形する光学素子形状が異なるため、上型部材16及び下型部材18がそれぞれ16'、18' と形状が変わっている。

【0046】また図14に本実施例での光学素子が成形されるまでの、温度プロセス及びガラス素材40'に負荷される荷重プロセスを示した図である。なお荷重プロセス図では、図13中のp1の方向が“+”、p2の方向が“-”で示してある。図に示す様に、硝種の違い、光学素子の形状の違いによって定温保持する温度がガラス素材の粘度で 10^{11} ポアズに相当する温度（470°C）、保持する時間が3分とそれぞれ第1実施例と異なっている。

【0047】図13の装置を使用し第1実施例の手順によって、本発明の定温保持を行わずに、同じ成形装置で成形した同一形状の凹メンスカスレンズの、光学機能面をフィゾー干渉計によって調べた結果を図15に、本発明の定温保持を行ったレンズのそれを図16に示す。

【0048】図15及び図16の結果から明らかなように、従来までの成形方法では、クセがニュートンリング1本以下の面精度を確保できないが、本発明の方法では良好な面精度が確保できていることがわかる。

【0049】以上説明した様に、上記実施例に示した光学素子の成形方法によれば、従来と同様の極めて基本的な装置によって、従来成形が困難であった形状の光学素

9

子を高精度に成形することが可能となる。

【0050】なお本発明は、その主旨を逸脱しない範囲で上記実施例を修正または変形したものに適用可能である。

【0051】例えば、上記実施例では、凹レンズとメニスカスレンズを成形する場合について説明したが、本発明はその他の形状の光学素子、例えば凸レンズや、平板状の光学素子の成形にも適用可能である。

【0052】

【発明の効果】以上説明したように本発明による成形方法によって、ガラス素材の活発な応力緩和作用を利用し、短時間で内部に発生した熱応力を除去可能であるため、従来までは成形が困難であった形状の光学素子の高精度な成形を可能とする。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施例の成形用型の構成を示した図である。

【図2】第1実施例での温度プロセス及び荷重プロセスを示した図である。

【図3】第1実施例でのガラス素材と型部材の膨張率の20
温度依存性を示す図である。

【図4】第1実施例でのガラス素材のクリープ・コンプレイアンスを示す図である。

【図5】第1実施例でのガラス素材のクリープ・コンプレイアンスのマスターカーブを示す図である。

【図6】第1実施例でのガラス素材の時間・温度シフトファクターを示す図である。

【図7】第1実施例でのガラス素材の緩和弾性係数のマスター曲線を示す図である。

【図8】第1実施例での解析結果を示す図である。

10

【図9】第1実施例での成形した光学素子形状の概略図である。

【図10】第1実施例で定温保持を行わずに成形したレンズの、光学機能面をフィゾー干渉計によって調べた結果である。

【図11】第1実施例で定温保持を行い成形したレンズの、光学機能面をフィゾー干渉計によって調べた結果である。

【図12】第2実施例で成形した光学素子形状の概略図である。

【図13】第2実施例の成形用型の構成を示した図である。

【図14】第2実施例での温度プロセス及び荷重プロセスを示した図である。

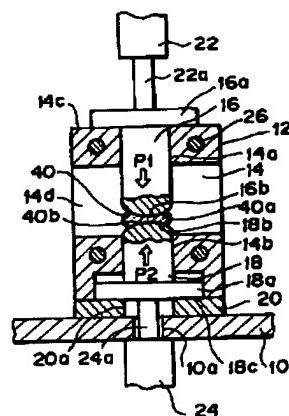
【図15】第2実施例で定温保持を行わずに成形したレンズの、光学機能面をフィゾー干渉計によって調べた結果である。

【図16】第2実施例で定温保持を行い成形したレンズの、光学機能面をフィゾー干渉計によって調べた結果である。

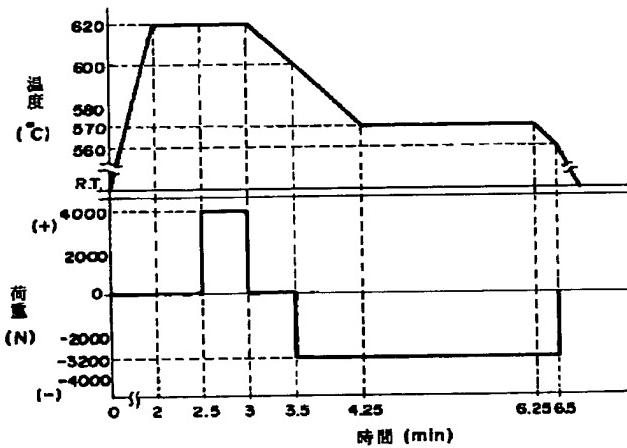
【符号の説明】

- | | |
|----------|-------------|
| 1 0 | 成形装置本体 |
| 1 2 | 成形用型 |
| 1 4 | 胴型 |
| 1 6 | 上型部材 |
| 1 8 | 下型部材 |
| 2 0 | 支持基板 |
| 2 2, 2 4 | エアシリンダ |
| 2 6 | ヒータ |
| 3 0 4 0 | ガラス素材（光学素子） |

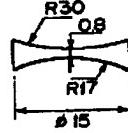
【図1】



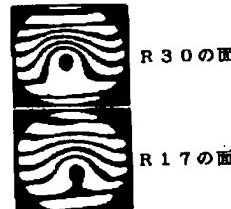
【図2】



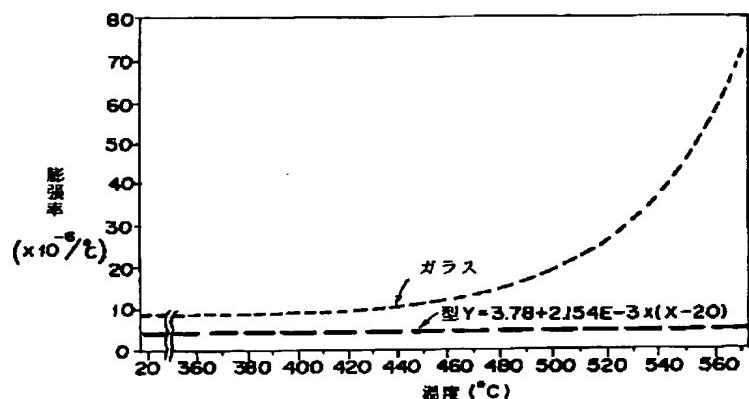
【図9】



【図10】



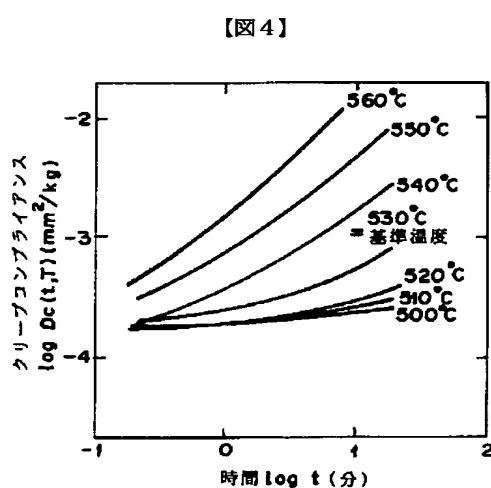
【図3】



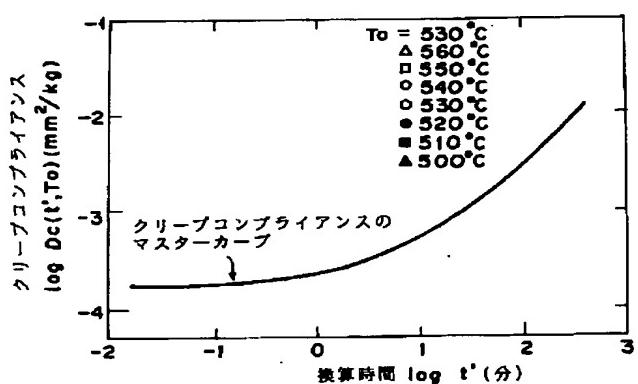
【図11】



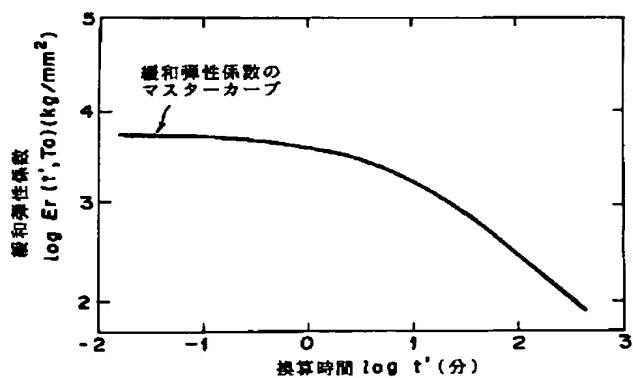
【図15】



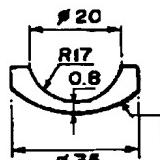
【図5】



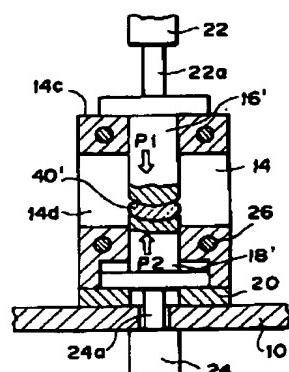
【図7】



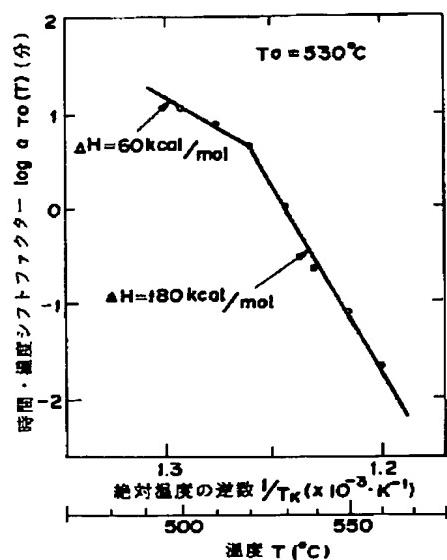
【図12】



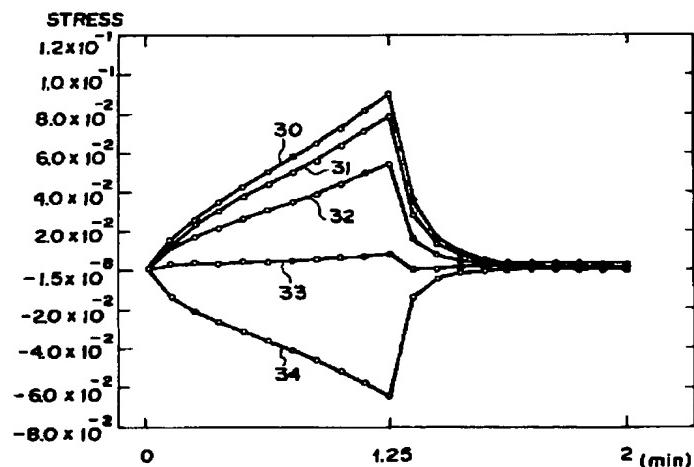
【図13】



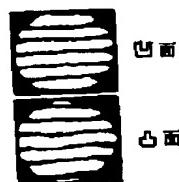
【図6】



【図8】



【図16】



【図14】

